



VII Elagec - II SelN²co

Nuevas Tendencias en la Construcción Sostenible

CONGLOMERADOS SOSTENIBLES REALIZADOS CON RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN GENERADOS EN OBRAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

Paola Villoria Sáez (a); Jaime Santa Cruz Astorqui (b); Mercedes del Río Merino (c)

- (a) Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Edificación. Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control. Grupo de investigación. TEMA. Madrid, España, paola.villoria@upm.es
- (b) Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Edificación. Departamento Tecnología de la Edificación. Grupo de investigación. TEMA. Madrid, España, jaime.santacruz@upm.es
- (c) Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Edificación. Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control. Grupo de investigación. TEMA. Madrid, España, mercedes.delrio@upm.es

ABSTRACT

Currently the European Commission is encouraging a circular economy in the construction industry. This type of economy is an alternative to traditional linear economy where resources are used as long as possible --extracting the maximum value from them whilst in use-- then recovered and transformed into products at the end of each service life. The circular economy will definitely contribute to closing the loop of construction product lifecycles through greater recycling and re-use, helping to build a market for reused construction materials generated in construction and demolition sites. In this context, the research group TEMA from the UPM is working on the research project called "Waste to resources (W2R)". This project seeks new ways of CDW recycling as raw materials for gypsum, mortar and concrete. In this paper the results obtained in the first phase of the project are presented. Several tests (density, mechanical strength, thermal behavior, etc.) were performed to gypsum samples containing different building retrofitting waste categories (insulation, glass, plastic, ceramic tiles, etc.). Results show not only the values obtained in each test but also the proportions achieving the best behavior (indicating the percentage of added waste). Finally, the gypsum composite achieving the best value was highlighted in each test, distinguishing those eco-materials suitable for reinforcing, lightening, or improving thermal behavior.

Keywords:

Building materials, circular economy, construction waste, gypsum

1. Introducción

La gestión de residuos provoca graves problemas medioambientales, debido principalmente al depósito en vertederos de la mayoría de los residuos o a la carga económica que supone su eliminación, siendo en muchos casos muy elevada. En concreto, aproximadamente el 30% de los residuos generados en España y Europa provienen del sector de la construcción. Por lo tanto, el sector de la construcción, y en particular la edificación de ámbito residencial, debe asumir el objetivo de reducir el impacto perjudicial que produce.

Por otro lado, en la actualidad los expertos apuntan un cambio de paradigma en la edificación, pasando de una edificación fundamentada en la obra nueva a la rehabilitación o reforma de la edificación existente. Este cambio viene motivado por las recientes exigencias legislativas de eficiencia energética como el Real Decreto de Certificación Energética (Real Decreto 235/2013), lo que conllevará a un incremento considerable de obras de rehabilitación. El aumento previsto de obras de rehabilitación y en su caso de demolición supondrá un incremento considerable de la generación de RCD, siendo prioritario conseguir nuevas maneras de gestionarlos para prevenirlos y mejorar su reciclaje para poder dar respuesta a los requerimientos de la Comunidad Europea de alcanzar una tasa de reciclaje del 70% para el

año 2020. Por este motivo, la recuperación de residuos de construcción ha sido centro de atención de gobiernos, empresas/organizaciones y profesionales, los cuales están poniendo en práctica políticas nacionales e internacionales, así como diferentes medidas cuyo objeto es reducir al mínimo los efectos negativos de la generación y la gestión de los residuos para la salud humana y el medio ambiente.

Los residuos mayoritarios encontrados en las obras de rehabilitación energética se refieren a residuos procedentes de hormigón, mortero y materiales cerámicos. Todos ellos han hallado su uso extensivo en la industria del reciclaje a través de los áridos reciclados. En este sentido, cabe destacar el catálogo online del CEDEX, el cual analiza la viabilidad de utilizar RCD (principalmente escombros de ladrillo y hormigón) como sustituto de la materia prima tradicional para su uso en la elaboración de hormigón no estructural en obras de ingeniería civil. Sin embargo, dicho catálogo no plantea estrategias de incorporación de RCD en yeso. Además, el reciclaje de otros residuos generados en edificación (materiales aislantes, madera, vidrio, etc.) no ha encontrado el mismo éxito como materia prima alternativa para la fabricación de nuevos materiales.

2. Objetivo

Por tanto, el objetivo principal de la ponencia es analizar la viabilidad de incorporar RCD generados en obras de rehabilitación energética, en conglomerantes de yeso/escayola. En este sentido, el grupo de investigación Tecnología Edificatoria y Medioambiente (TEMA) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) está trabajando en un proyecto denominado: De residuos a Recursos-Waste to Resources (W2R), cuyo objetivo principal es el desarrollo de nuevos materiales, elementos y sistemas constructivos, fabricados a partir de RCD procedentes de la rehabilitación de edificios.

Los resultados de dicho trabajo muestran que los residuos más generados en este tipo de obras son: Los materiales cerámicos, los aislantes, la madera, el plástico, el papel y cartón, el yeso laminado y el vidrio. En concreto, este trabajo muestra la metodología y los resultados obtenidos para la caracterización del yeso con vidrio.

3. Reciclaje del vidrio como materia prima alternativa para la fabricación de materiales de construcción

Hoy en día, el vidrio es uno de los residuos mayoritarios generados en los sectores domésticos e industriales así como en obras de rehabilitación energética donde el cambio de carpintería es una de las actuaciones más realizadas por los propietarios de las viviendas por su sencillez y eficacia para ahorrar energía.

Los residuos de vidrio se componen principalmente de botellas, vidrios rotos de carpinterías, bombillas e incluso los artículos defectuosos que han sido descartados por los fabricantes de vidrio. Aunque la refusión del vidrio es muy eficiente, hay varias dificultades que surgen cuando se mira en el proceso de reciclado global. En primer lugar los envases de vidrio tienen una variedad de diferentes colores y el casco de vidrio debe ser separado en sus respectivos colores antes de fundirse. En segundo lugar los fabricantes de envases de vidrio se ubican habitualmente lejos de las ciudades por lo que el tiempo y la energía utilizada para transportar el residuo de vidrio a la planta de reciclaje es elevada. Estas dificultades han dado lugar a una búsqueda de aplicaciones alternativas para el vidrio reciclado como árido de vidrio, y por tanto reducir la cantidad de vidrio que se envía a los vertederos.

Existen múltiples patentes y trabajos que describen métodos para el aumento de la dureza superficial o la resistencia de las pastas de yeso. Entre los materiales utilizados para aumentar la dureza superficial destaca la patente WO 2009121984 A1 “Mortero de yeso con vermiculita expandida y aditivado, y procedimiento para su obtención” que se refiere a un mortero cálcico con vermiculita expandida y aditivada con ácido tartárico, ácido cítrico, sulfato de cobre y citrato potásico o sódico. Dicho mortero alcanza una dureza mínima del 60% Shore C. También la patente nº P200102532 consiste en un material constituido por cualquier tipo de yeso o escayola, con relación agua / yeso del 0.7 reforzado con adiciones binarias de fibras cortadas de polipropileno de 25 mm de longitud, y dispersiones de melamina formaldehído.

Por otra parte, se han encontrado patentes y trabajos que incorporan vidrio en distintas proporciones y tamaños para la fabricación de nuevos materiales de construcción:

WO2014207276A1 “Mortero hidráulico con vidrio” yeso y opcionalmente alúmina; Vidrio súper-fino adicionado posteriormente al producto molido; y piedra natural de machaqueo y suelo natural calcáreo o silíceo o mezcla de ambos, o vidrio molido como sustituto de los finos de piedra natural, calcárea o silícea.

Lázaro et al. (2012) Incorpora residuos derivados de la fabricación cerámica y del vidrio reciclado en el proceso cerámico integral. Obtienen pastas de gres porcelánico para baldosas a través de arcillas de naturaleza caolínica (40-45% en peso), feldespato (30-35% en peso), arena feldespática (5-10%), y vidrio reciclado (15-20%). Además, cabe destacar la patente nº 009800953 “Procedimiento para la fabricación de materiales de revestimiento empleando como materia prima vidrio reciclado, materiales así obtenidos y sus aplicaciones” que consiste en un procedimiento para la fabricación de materiales de revestimiento empleando como materia prima vidrio reciclado que comprende la fusión de una materia prima a base de vidrio reciclado para obtener una masa uniforme de vidrio fundido que, posteriormente, se moldea por prensado para obtener piezas de vidrio las cuales se someten a una operación de recocido para su estabilización, seguida de esmaltado y cocción opcionales, para la obtención de una pieza de vidrio esmaltada o no esmaltada apta como material de revestimiento.

Marco et al. (2012) Analiza un mortero de cemento con un 70-90% de polvo de vidrio (de tamaño entre 16µm y 11µm) sobre peso del cemento, obteniendo mejores resistencias cuanto más pequeña sea la granulometría del polvo de vidrio empleado como conglomerante, y mayor sea la cantidad de este.

A su vez, Bhandari y Tajne (2013) incorporaron hasta un 30% en peso de polvo de vidrio para la fabricación de bloques de mortero de cemento. El tamaño del vidrio empleado esta entre 600µm – 1.18mm. En este caso, mejoraba la absorción de agua en aquellos bloques fabricados con vidrio en comparación con los bloques de referencia.

Park (2004) y Lim (2014) analizaron la sustitución parcial del árido fino del hormigón por vidrio (hasta un 30%). Ambos trabajos concluyeron que las resistencias disminuían con el aumento de vidrio añadido. Lim concluyó que las propiedades mecánicas del hormigón se mantenían similares a las de la probeta referencia cuando se sustituía hasta un 10% del árido fino. A su vez, Topcu and Canbaz (2004) analizaron la sustitución parcial del árido grueso por vidrio en hormigón (hasta un 60%), obteniendo disminuciones de resistencia a medida que aumenta el porcentaje de vidrio añadido.

Por último, Tounchuen (2014) incorporó hasta un 20% de vidrio procedente del sector automovilístico (lunas de coche) en conglomerados de yeso. Los resultados obtenidos mostraron que la adición de partículas de vidrio mejoran la resistencia del compuesto así como su insolubilidad al agua.

4. Materiales y métodos

Los componentes de este mortero de yeso son:

- Yeso grueso: se emplea un producto en base yeso constituido por sulfato de calcio semihidratado de elevada pureza y fraguado rápido, suministrado por Placo Saint Gobain.
- Residuo de vidrio: se emplea residuo de vidrio obtenido del desmontaje de la carpintería, que tiene una densidad real de 2.7 g/cm³ una vez triturado y una conductividad térmica 0.9 W/mK. Este residuo se tritura con una máquina trituradora tipo micro deval y se tamizan para obtener distintas granulometrías: gruesa-granulado (2-1mm) y fina-polvo (iguales o inferiores a 125µ).



Figura 1: Residuo de vidrio granulado (izquierda) y polvo (derecha)

Este residuo se incorpora al yeso y al agua, y se amasa durante dos minutos hasta obtener una mezcla homogénea. El procedimiento para realizar el compuesto comenzará por la mezcla del polvo de vidrio con el yeso y posteriormente se añade esta mezcla al agua. Todas las probetas se realizan con una relación agua/yeso = 0,8.

La pasta resultante se introduce en moldes de probetas 4x4x16cm y después de que fragüe se desmolda y se mantiene en la atmósfera de laboratorio durante siete días. Transcurridos los 7 días se desecan hasta masa constante a una temperatura de 40 ± 2 °C. La obtención y caracterización de este material se lleva a cabo mediante la caracterización previa del residuo de vidrio (caracterización física, química y microestructural) y la caracterización del compuesto en estado fresco y en estado endurecido según las especificaciones y normas aplicables (UNE-EN-13279-1:2009).

Tabla 1: Example of a table location.

| Compuestos | |
|------------|--|
| YG + 0%REF | Sin vidrio añadido |
| YG + 20%F | Distinta adición de vidrio en polvo (<125µm) |
| YG + 30%F | |
| YG + 50%F | |
| YG + 70%F | |
| YG + 90%F | |
| YG + 100%F | |
| YG+50%G | Distinta adición de vidrio granulado (2-1mm) |
| YG+75%G | |
| YG+100%G | |

Se analizó, la densidad en estado seco, dureza Superficial Shore C, resistencia a flexión (7 días) y resistencia a compresión (7días). Los resultados obtenidos se compararon entre los diferentes compuestos, siempre teniendo en cuenta los valores de referencia obtenidos con las probetas de yeso elaboradas sin aditivos y con los valores mínimos marcados en la normativa vigente que ha de cumplir un yeso de gran dureza (clasificados como B7 según la norma UNE EN 13279-1:2009):

- Contenido mínimo de conglomerante de yeso: 50%
- Resistencia a flexión: 2 N/mm²
- Resistencia a compresión: 6 N/mm²

Por último, con las mezclas con las que se obtuvieron mejores resultados se realizaron placas de 24x24x3cm para el análisis de su comportamiento térmico. Para ello, se realizó un ensayo no normalizado que establece de forma comparativa el comportamiento del material y se obtiene el coeficiente de conductividad térmica del compuesto. En el ensayo se obtienen las temperaturas de los distintos compuestos a ensayar por medio de la transmisión de calor en régimen estacionario.

El equipo de medida está formado por un cubo aislado con cuatro caras abiertas con paredes móviles: tres de ellas se tapan con planchas de poliestireno expandido y en la cuarta pared se coloca la placa sometida a ensayo que tiene 3cm de espesor y a ella esta adosada una placa de poliestireno expandido de 1 cm de espesor. El cubo aislado tiene en su interior, una fuente de calor que genera una bombilla de 100W y una sonda térmica conectada al termostato. Una vez colocada la placa, todas las sondas y una vez que la temperatura del interior del cubo se ha estabilizado se procede a anotar las temperaturas correspondientes a las 5 sondas cada minuto durante cinco minutos.

5. Resultados

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos con las probetas confeccionadas. De los resultados obtenidos, se observa que la incorporación de los residuos de vidrio en una matriz de yeso, se obtienen conglomerados de yeso/escayola de mayor densidad y dureza superficial, con unas prestaciones mecánicas superiores a las exigidas por la normativa de obligado cumplimiento. Además, los resultados obtenidos en las probetas con el formato de vidrio granulado son peores que los obtenidos con el vidrio en polvo.

Tabla 2: Resultados obtenidos en los ensayos sobre compuestos de yeso y residuo de vidrio.

| Compuesto | Densidad | Dureza Superficial (Shore C) | Resistencia a flexión (MPa) | Resistencia a compresión (MPa) | Coefficiente de conductividad térmica (W/mK) |
|-------------|----------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--|
| REF | 0.977 | 62.383 | 3.251 | 5.854 | 0,35 |
| YG0.8+20%F | 1.064 | 69.867 | 3.266 | 6.508 | - |
| YG0.8+30%F | 1.123 | 71.633 | 3.352 | 6.905 | - |
| YG0.8+40%F | 1.137 | 74.333 | 3.599 | 7.135 | - |
| YG0.8+50%F | 1.195 | 75.333 | 3.630 | 6.868 | 0,27 |
| YG0.8+70%F | 1.276 | 81.933 | 4.116 | 8.775 | - |
| YG0.8+90%F | 1.342 | 85.300 | 4.055 | 8.952 | - |
| YG0.8+100%F | 1.365 | 88.400 | 3.902 | 10.108 | 0,31 |
| YG0.8+20%G | 1.080 | 70.800 | 2.957 | 5.980 | - |
| YG0.8+50%G | 1.267 | 76.100 | 2.903 | 6.115 | - |
| YG0.8+75%G | 1.365 | 77.967 | 2.804 | 5.969 | - |
| YG0.8+100%G | 1.453 | 78.133 | 3.160 | 6.119 | - |

En todos los casos la densidad aumenta en comparación con la referencia. Llegando a incrementarse un 39.71% en el caso de 100% de adición de vidrio en polvo y un 48.75% en el granulado.

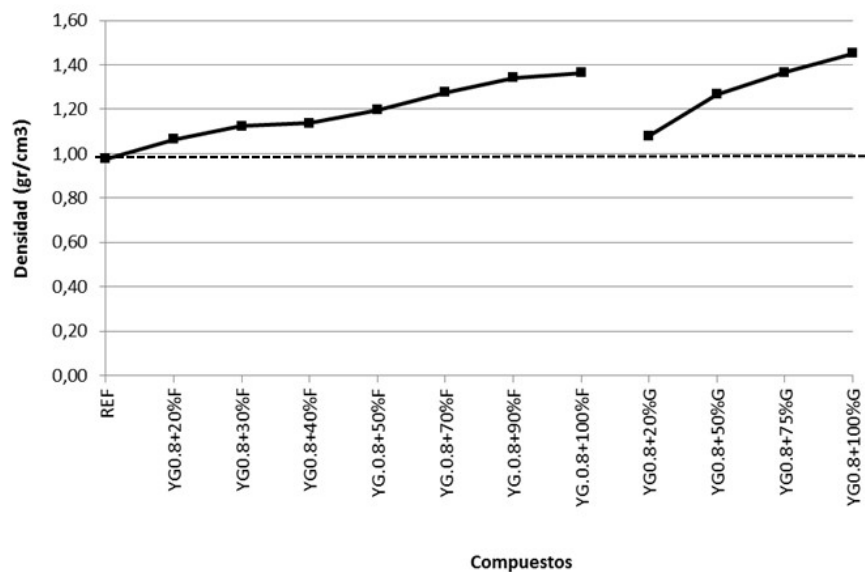


Figura 2: Resultados obtenidos en el ensayo de densidad

Además, se observa que existe una relación casi directa con entre el aumento de densidad y el aumento de resistencia mecánicas, llegando a incrementar un 23.05% la resistencia a flexión y un 59.68% la de compresión en las mezclas con 100% de adición de polvo de vidrio. Sin embargo, con el residuo en formato granulado, las resistencias mecánicas a flexión disminuyen con respecto a la probeta referencia hasta un 14% con las mezclas de 75% de vidrio granulado añadido. No obstante, todas las mezclas ensayadas se sitúan por encima del valor mínimo que marca la norma para yesos de especial dureza (Yesos B7), marcada con una línea verde.

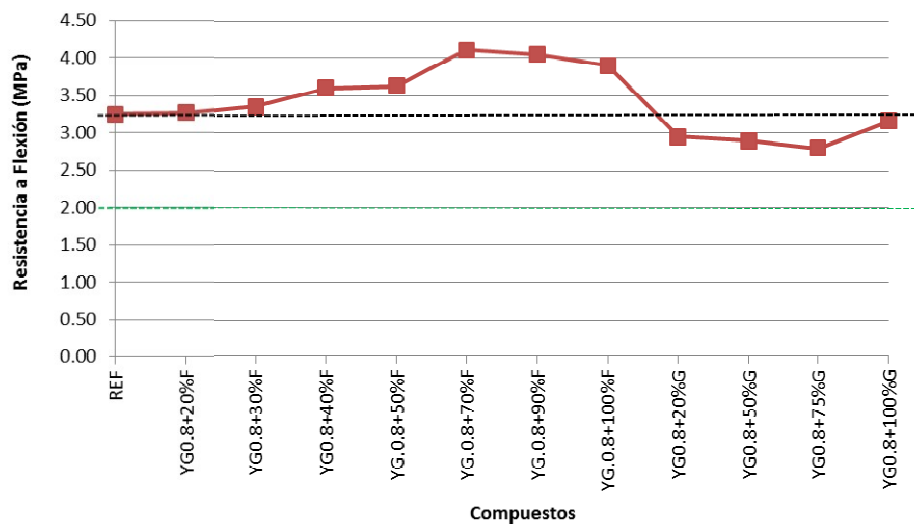


Figura 3: Resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a flexión

En cuanto a la resistencia a compresión, en general, se observa que a mayor porcentaje de residuo de vidrio en polvo mayores resistencias a compresión en comparación con las probetas referencia, llegando a incrementar las resistencias hasta un 59,68% con respecto a la de referencia. Sin embargo, al igual que ocurría con la resistencia a flexión, al añadir vidrio granulado la resistencia a compresión se mantiene igual o es inferior a los valores de referencia y además se mantienen en el límite del valor mínimo marcado por la norma para yesos de especial dureza (B7).

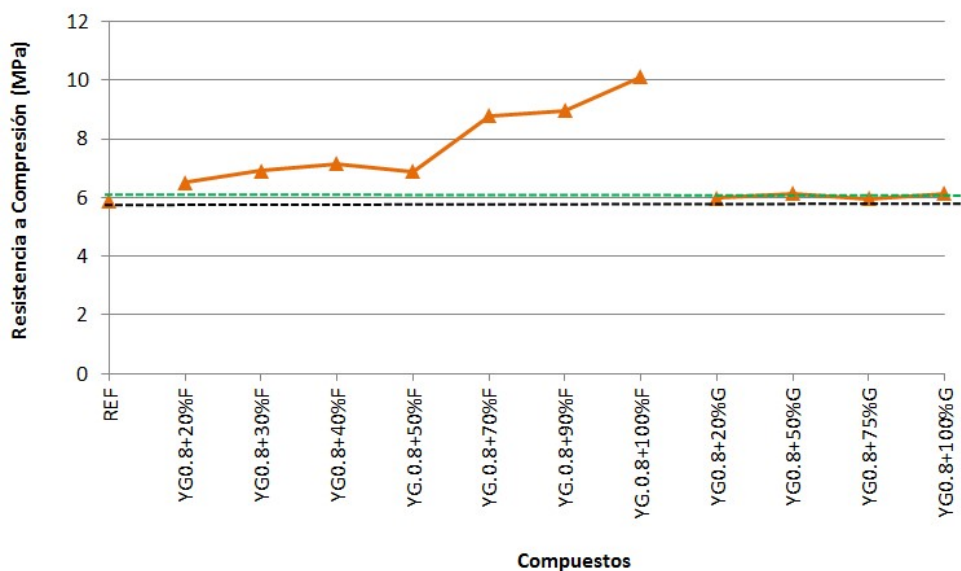


Figura 4: Resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión

En el caso de la dureza superficial, todos los valores superan los de referencia llegando a alcanzar el 41.70% con el 100% de adición de vidrio en polvo y un 25% con el compuesto de 100% de vidrio grueso.

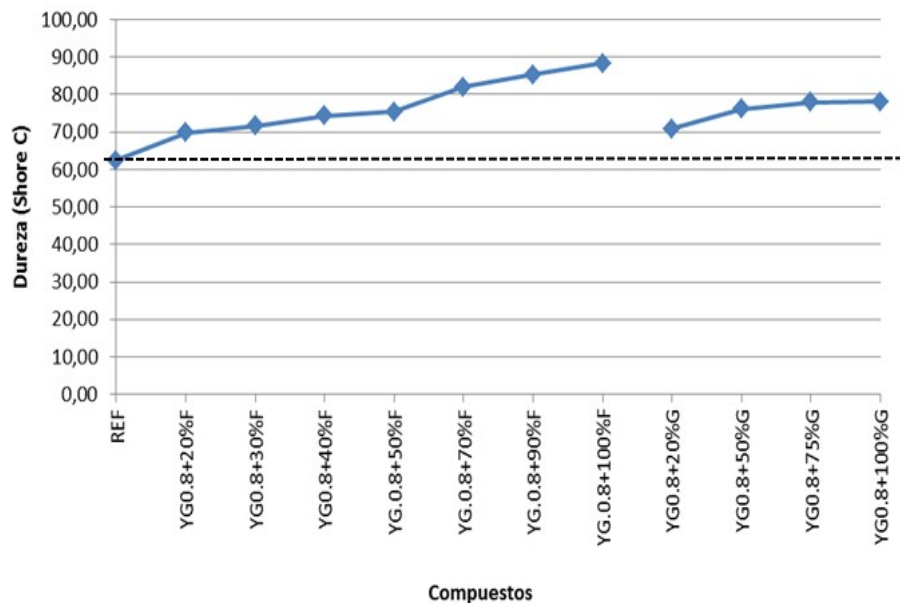


Figura 5: Resultados obtenidos en el ensayo de dureza superficial

Por último, los resultados del análisis térmico realizado sobre las probetas 50% y 100% de vidrio en polvo añadido y la probeta referencia, se observa que el coeficiente de conductividad térmica del material se mantiene similar al de la probeta de referencia, alrededor de 0.3 W/mK para las tres muestras ensayadas.

6. Conclusiones

De los resultados obtenidos, se puede concluir que es viable utilizar residuo de vidrio como materia prima alternativa en los conglomerados de yeso. El uso de residuo de vidrio en polvo permite aumentar la dureza superficial y mejorar la resistencia del yeso tradicional manteniendo su comportamiento térmico.

Dadas sus características, este nuevo material puede ser recomendable como capa exterior de acabado en prefabricados de yeso con un nivel de eficiencia superior al tener una conductividad térmica menor que el material tradicional. El material resultante es un mortero que resulta apto para ser aplicado con cualquiera de los sistemas tradicionales existentes, tanto manualmente como con máquina para proyectarlo, no requiriendo especial cualificación por parte del trabajador que lo manipula. Además, el material resultante podrá utilizarse como capa de acabado para particiones y falsos techos de elementos prefabricados en base yeso.

Agradecimientos

Los resultados mostrados son parte del proyecto “Proyecto de Waste2Resources” (BIA2013-43061-R) financiado por la Secretaría de Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Economía y Competitividad de España.

Referencias

- Gobierno de España, 2013. Real Decreto 235/2013 de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- CEDEX, 2012. Catálogo online de Residuos utilizables en la construcción. Página web: <http://www.cedexmateriales.vsf.es/view/catalogo.aspx> Último acceso: 07 Junio 2016
- Patente WO-2009121984-A1 “Mortero de yeso con vermiculita expandida y aditivado, y procedimiento para su obtención”
- Patente P200102532 “Material de construcción reforzado con fibra”
- Patente WO2014207276A1 “Mortero hidráulico con vidrio”

- Lázaro, C; Ramón Trilles, V. Gómez, F; Allepuz, S; Fraga D.y Carda, J. B. (2012). Incorporación de residuos derivados de la fabricación cerámica y del vidrio reciclado en el proceso cerámico integral. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, Vol 51, 2, 139-144, Marzo-Abril 2012
- Patente 009800953 "Procedimiento para la fabricación de materiales de revestimiento empleando como materia prima vidrio reciclado, materiales así obtenidos y sus aplicaciones"
- Marco, J; E. García; M.I. Más; V. Alcaraz; A. Luizaga (2012) Study of the compressive strength of mortars made with binders composite glass powder. Informes de la Construcción Vol. 64, 528, 529-536.
- Bhandari P.S y Tajne K.M (2013) Use of waste glass in cement mortar. International Journal of Civil And Structural Engineering, Volume 3, No 4, 2013
- Park, S.B. and Lee, B.C. and Kim, J.H. (2004) Studies on Mechanical Properties of Concrete Containing Waste Glass Aggregate. Cement and Concrete Research Volume 34, Issue 12, December 2004, Pages 2181–2189
- Lim, A (2014) "The Use of Waste Glass as a Partial Substitution for Fine Aggregate in Concrete Design" Thesis at School of Engineering and IT
- Topcu and Canbaz (2004) Properties of Concrete Containing Waste Glass. Cement and Concrete Research Volume 34, Issue 2, February 2004, Pages 267–274
- Tounchuen (2014) Characteristics of Automotive Glass Waste-Containing Gypsum Bodies Made from Used Plaster Mould. Key Engineering Materials, Vol. 608, pp. 91-96, Apr. 2014